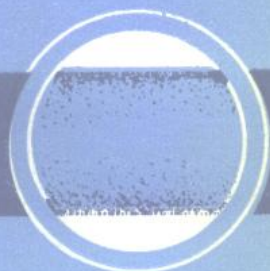


〔美〕布鲁斯D.克雷格



油田实用 金属材料



石油工业出版社

内 容 提 要

本书主要阐述了钻井和油气生产以及增产措施用设备金属材料的工艺处理方法、常见损坏形式、损坏机理、防腐蚀措施、材料选择及其经济分析。为了选材方便,书后还附有油田常用设备抗腐蚀材料及推荐选择标准。

本书可供从事金属材料研究、机械设计、制造和维修,以及油气田设备使用科技人员参考。

DP43/07

BRUCE D. CRAIG

Practical Oil-Field Metallurgy

Penn Well Publishing Company, 1984

油田实用金属材料

[美] 布鲁斯·D·克雷格 著

史久光 译

*

石油工业出版社出版

(北京安定门外安华里二区一号楼)

石油工业出版社排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 32 开本 $9\frac{7}{8}$ 印张 2 插页 200 千字 印1-2,000

1989 年 11 月北京第 1 版 1989 年 11 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-0206-X/TE·202

定价: 2.55 元

前 言

据作者所知这是第一本专门讨论石油生产用金属材料的书。它对金属材料或石油生产所作的探讨决不是完善的或综合性的。事实上，任何一位精通石油工业某一特定领域的读者不可避免地会发现一些不足之处，这或者是作者对该方面的无知，或者是由于在公开的文献中无法获得有关资料。后者是经常遇到的情况，因为很多工具及它们的制造工艺是属于私有的（指不公开的），所以，有些资料是很难得到的。

写这本书有双重目的。首先，在石油工业内有许多人负责选择材料和分析损坏原因的工作，但他们却不是金属材料学家，并且对有关问题又找不到参考资料。其次，石油工业的专业金属材料工作人员们又没有供日常选材用的包括许多图和表的书。本书是为上述两种目的而写的。

本书尽量多地使用有关设备和作业在油田里用的术语，使新参加材料工作的人员们熟悉这些术语，并向有经验的油田工程师提供熟悉的衡量标准。只要有可能，就采用油田使用的材料以及它们损坏的实例，以便进一步帮助读者理解这方面的情况。

以往，油田金属材料知识是从油田上有经验的工作人员及通过试错法学到的。这确实有效的方法，但却很费时间又要花很多的钱。作者希望本书能帮助一些人能在熟悉基本原理之际，在成为熟练的材料工程师之前省一些时间。这对当今石油工业尤其重要，因为当今合金的性能正受到恶劣环

境的挑战，误用材料可造成严重的经济后果。本书将不涉及可能导致人身伤亡事故方面的问题。

本书第一章将使读者对金属材料有个基本了解，以使读者对以后各章的金属材料产生浓厚的兴趣。第二章将介绍石油工业有关腐蚀的主要问题。腐蚀是油田金属材料不可分割的一部分，在本书中二者将紧密地联系在一起。上述作法，在某些方面本书可能象一本讨论腐蚀的书，但实际却并不如此。对于解决问题的其它金属材料方案将予以探讨，而其它的选择方案，如缓蚀剂、涂层等等将不予讨论，可是在讨论控制腐蚀时，却仍要涉及。第三、四、五章将叙述合金的性能及在石油工业中的作用。为了明晰起见，油田金属材料中的某些方面有意识地予以略去。其中之一为焊接。尽管它是一个重要部分，但是，它有增加本书复杂性的倾向。另一方面是容器，如自由水分离器和加热处理器。虽然容器在油田中是一个重要部件，但它们显然是超过设计要求的，不象其它部件那样需要予以关注。

作者对那些作为本书参考文献的作者们，并对石油工业中的很多尽管没有提到他们的姓名，可是他们却慷慨地供献出他们在金属材料方面和石油工程方面学识的朋友们，特别要提到盖蒂油公司的刘易斯(Lewis)和马拉松油公司的谢弗(Shaffer)，他们多年对石油工业中有关腐蚀的教导和讨论以及他们可贵的友谊，一并在此表示感谢。

译者的话

建国四十年来，石油工业的发展非常快。这不仅表现在产量上，而在工艺-技术和机械制造上都有显著的进步。但在金属材料的选择和使用方面，所发表和出版的资料却比较少，这一情况在我国如此，在石油大国的美国也是如此。本书的作者说，这是第一本这样的书。

国内有关油田设备和工具材料的选择及使用的文献还是有一些的。有些研究和探讨得比较深，在使用中也获得不少良好的效果。但是，比较系统全面的资料还少见。现在把《油田实用金属材料》和美国全国腐蚀(防腐)工程师协会出版的四本有实际意义的附录，即有关油田使用材料的规格和选择方面的材料一并译出。上述有关资料可供冶金业、机械业的设计、制造、科研方面的技术人员参考，同样适合石油界从事勘探钻井、油气生产、管输、防腐、材料供应和管理的技术人员参考。相信在提高和改进我国石油工业的制造和使用方面，以及延长设备和工具的寿命和提高经济效益方面会起到良好的作用。

本书的翻译和出版得到石油部领导及有关部门的大力支持，还承赵宗仁、刘子汉二位同志进行审阅，也得到许多其他同志的协助，在此一并致以衷心的感谢。

由于译者的水平有限，谬误之处请广大读者指正。

目 录

第一章 基础金属材料	(1)
第一节 金属的组织	(1)
第二节 金属的机械性能	(7)
第三节 碳素钢与合金钢	(21)
第四节 钢的热处理	(30)
第五节 铸铁和不锈钢	(38)
第二章 腐蚀的基本原理	(49)
第一节 腐蚀电池	(49)
第二节 腐蚀的种类	(53)
第三节 防止腐蚀的方法	(80)
第三章 钻井用金属材料	(84)
第一节 钻井设备的金属材料	(84)
第二节 钻井设备损坏的原因及防止方法	(94)
第四章 油、气生产用金属材料	(113)
第一节 套管和油管	(113)
第二节 抽油杆	(149)
第三节 井口设备	(161)
第四节 钢缆	(172)
第五节 抽油泵	(176)
第六节 其它设备	(179)
第五章 增产措施用金属材料	(185)
第一节 火驱(火烧油层)	(186)
第二节 蒸汽驱	(191)
第三节 二氧化碳驱	(196)
第四节 注惰性气体	(201)

- 附录一 适用于油田设备的抗硫化应力破裂的金属材料
- 附录二 适用于硫化氢环境的杆式抽油泵的金属材料
- 附录三 关于选择缓蚀剂作为抽油杆润滑剂的建议
- 附录四 油田注水用材料的选择

第一章 基础金属材料

在室温情况下，除水银外，所有的金属都是固体。这些固体由原子组成，原子形成称为晶体点阵的规矩阵列或晶格。这些原子的核描绘出了格点，而那些紧密结合在一起的电子位于原子中心的周围。最外的电子，即松散结合的电子，在点阵里很容易移动的称为价电子。这些价电子就是金属比非金属固体具有优越性的主要原因。这些价电子导致电和热的导性、磁性和光泽。

第一节 金属的组织

能量和键合(bonding)具有同样的重要性，它们能产生几种不同类型的点阵组织，其中三种是在金属中最常见的。这三种组织或称晶胞，通常称为面心立方(face-centered cubic, fcc)、体心立方(body-centered cubic, bcc)和密排六方(hexagonal close packed, hcp)组织。第一种组织(见图1-1)表现为一组球体紧密地堆积在一起。每一个球代表一个原子，这是一种理想的，但也是简单地用来描述原子堆积的方法。晶胞是最小的增量，是金属的周期组织(Periodic structure)能够缩小到的限度。具有fcc组织的金属有铜、镍、铝、金和银。图1-2表示出bcc晶胞的堆积排列。请注意这种组织与fcc的区别，它有较大的空隙。具有这类晶胞的金属有铁、钼、铬和钒。图1-3插绘出第三类晶胞hcp。镁、锌、钴和钛都是hcp金属。

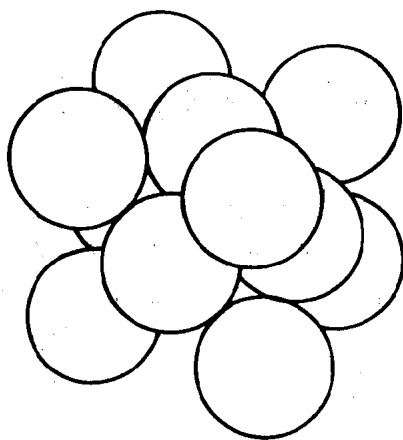


图1-1 面心立方原子堆积的硬球模型

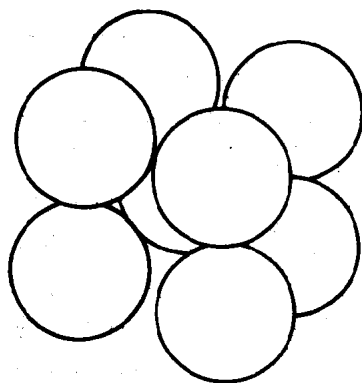


图1-2 体心立方原子堆积的硬球模型

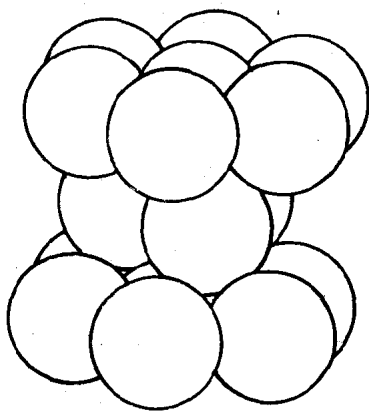


图 1-3 密排六方组织的硬球模型

金属和合金的机械性能,如强度、延展性和韧性主要是由它们的组织类型决定的。hcp 金属的强度通常比 fcc 和 bcc 金属低。由于堆积排列的原因,它们的延展性比 fcc 和 bcc 更有方向性,因此它们在很多的应用场合不能用作结构合金,特别在油田里更是如此。所以,本书将只对 fcc 和 bcc 类作进一步的讨论。

金属并不是由有一些连续周期性的晶胞的一粒大结晶组成的,而是当金属从液态冷却时,在液体内形成固体晶粒的核。冷却过程中这些核不断长大,直至固体结晶紧密接触。因为两个晶粒的平面之间都是任意定向的,所以在界面处难以相互适应,从而导致原子的适应(accommodation)。这种适应或转变在两个或更多晶粒的连接处产生一个界面,或称晶粒间界。由于原子都不在这一间界的适当位置,并且破坏了晶粒的周期性,晶粒间界比周围的基体有更高的能量。

由于原子结构和间界能量的不同，晶粒与晶粒间界的性能也就不同。

由于晶粒间界的原因，聚晶金属的强度比单晶高。事实上，晶粒变小(这就增加了晶粒间界的数目)金属的强度和延展性也就增加了。这种强有力的增进强度的方法以后将进一步讨论。

晶粒间界的其它许多细节在这里阐述未必恰当，但是，将涉及与本书有关的重要细节之一即抗化学性(chemical resistance)。因为晶粒间界比晶粒有较高的能量，所以，在腐蚀环境中，它们(晶粒间界)很快就会起化学反应。这一情况使得有可能用光学显微镜研究金属组织，即金相学。图 1-4 表示钢用硝酸和乙醇溶液腐蚀，以便分辨晶粒和晶粒间界。

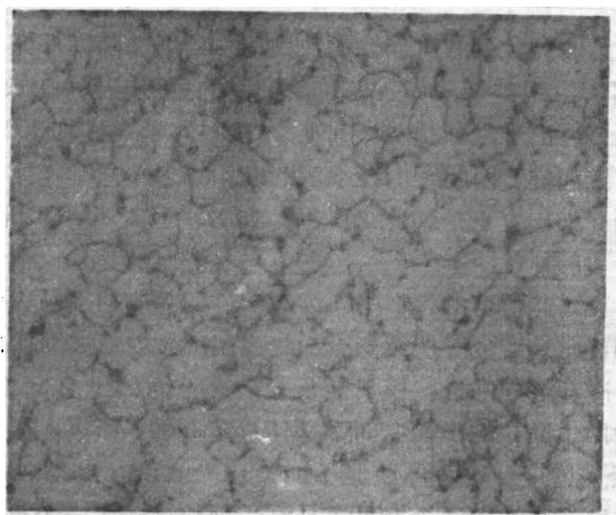


图 1-4 低碳(重量比0.12%)钢用硝酸乙醇腐蚀后显示的晶粒和晶粒间界(放大 730 倍)

纯金属，即使呈聚晶状态，也并不具有现代工程应用中
所需要的强度性能。在纯金属中加入其它元素，才能提高强
度。况且，增加其它元素不仅限于获得更高的强度，而且其
它元素还能提供更大的抗腐蚀性，增加延展性，提高在低温
条件下的韧性，在高温时增进组织不变形的稳定性以及很多
别的性能。

至少其中之一是金属的两种或更多元素的这种组合称之
为合金。这些元素的混合，定名为固溶体，并能以两种状态
存在。一种状态（见图 1-5）是元素本身代替了基料原子的

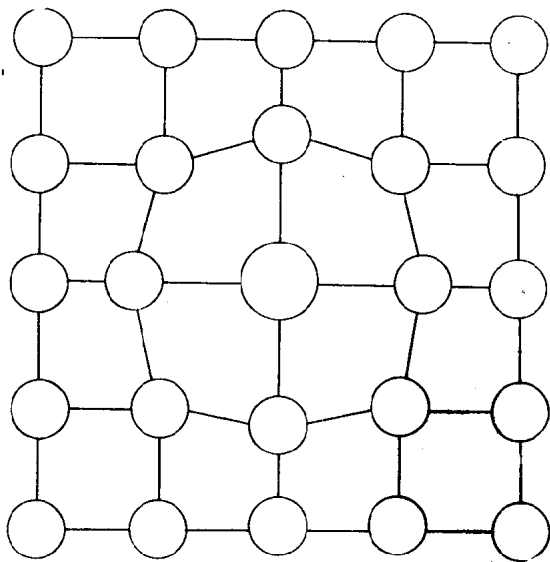


图 1-5 一个较大原子在点阵的位置代替了较小原子的
基料原子（即取代固溶体）

位置。另一种状态(见图 1-6)是该元素嵌在基料(parent metal)原子之间的隙间孔内。前一种称为取代固溶体(substitutional solid solution),而后一种称为间充固溶体(interstitial solid solution)。哪一种固溶体较为优越,这与介入的溶质(intervening solute)原子和溶剂原子的大小有关。如果溶质原子较小,如碳、氮或氢,情况将很有利于原子居于中间的位置上,而不是取代的位置。大原子的铬、镍和锰的情况恰恰相反。

合金元素的浓度和固溶体的类型对合金的影响,很象前面描述过的原子堆积结构和晶粒的大小那样。间充固溶体就象碳在铁内,它比取代固溶体有较高的强度。

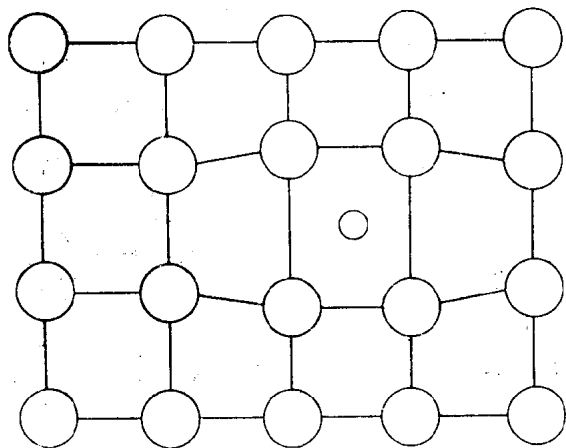


图 1-6 小原子嵌在较大原子的基料原子之间(即间充固溶体)

考虑到所有这些增加金属强度的方法，怎样测定它们的效应呢？下一节将讨论怎样确定一种合金机械性能的各种试验方法。

第二节 金属的机械性能

测定金属机械性能定量数据的最常用方法就是张力试验。简而言之，做这一试验是把一种金属以恒定的速率拉断。做这种试验有许多种几何形状的试样，其中的一种规格，是用一根未规定长度的圆棒，其缩小截面部分的长度要超过2英寸，直径至少为0.500英寸。这一试棒的例子如图1-7所示。当该试棒在张力试验机上受到拉力时，所施加的负荷除以试棒中间部分的原来截面积就得出应力。同时，2英寸长度称为测定长度，并把这一长度标明在试棒的缩小截面部

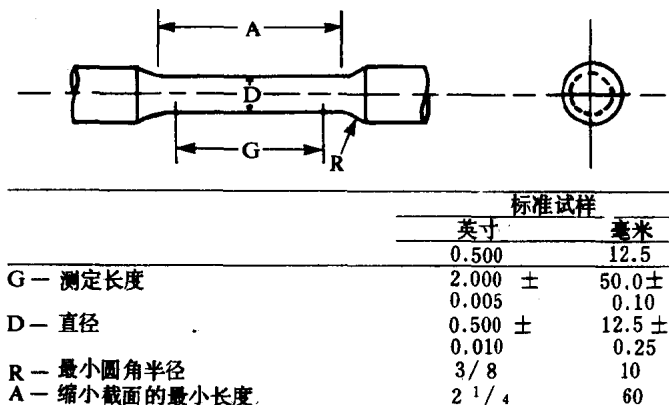


图1-7 用于测定金属机械性能的标准张力试棒

分，以测定试棒长度的变化（指与原来长度的比较），这称为应变。

图 1-8 表示一条常见的工程上用的应力 - 应变曲线，它是由每一点所加的负荷除以它原来的截面积而得到应力

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

式中 P —— 所加的负荷，磅；

A —— 原来的截面积，英寸²。

这就是工程应力的定义。工程应变同样规定为总伸长度减去原来测定的长度并除以原来测定的长度：

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$$

式中 Δl —— 长度的变化，英寸；

l —— 原来长度，英寸。

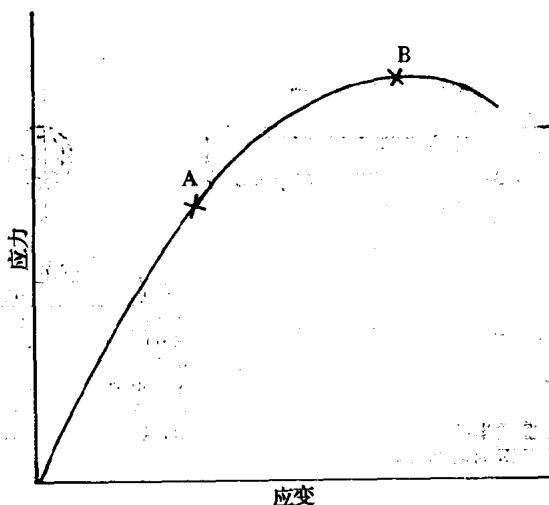


图 1-8 一种纯金属的应力 - 应变曲线表示了屈服强度和抗张强度

在很多试验里，标准测定长度为 2 英寸。

曲线上表明了两个重要的点。第一个点，即 A 点，表明应力与应变之间线性关系的结束或终止。这一点称为比例极限，并且还代表该金属的弹性极限。当撤去施加的低于这一极限的应力或应变时，该金属不会产生永久变形。根据虎克定律，应力与应变的关系如下：

$$\sigma = E\epsilon$$

式中 σ —— 应力；
E —— 弹性常数；
 ϵ —— 应变。

应力的单位以磅/英寸²表示，应变是无单位的，因为它是长度除以长度。应变常用百分比表示。弹性常数又称为弹性模数或杨氏模数，也以每平方英寸磅表示。

一旦超过了 A 点，应变就成为塑性的，而且该金属即产生永久变形。沿着曲线向上，在 B 点，试棒不能支持所增加的应力，于是截面开始缩小或称颈缩。一旦颈缩开始，很快就出现全面的破裂，正如曲线所表示的，斜率也出现变化。颈缩开始之前所达到的最大应力除以截面积，即定名为极限抗张强度。

由于在颈缩期间截面开始减小，很明显，应力除以原来截面积将导致一定的误差。事实上，对于应变来说同样也存在着一定的误差。因为试件的长度是连续地变化着的，所以，特别是在塑性区内，一种更精确描述应力和应变的方法是分别使用瞬时面积和长度。这种计算方法能得出真的应力和真的应变，但是也变得难于计算；因而绝大多数的设计数据都是以工程应力和应变表示的。

从图 1-8 上能明显看出，确定从弹性应变移到塑性应

变的那一特殊点是很难的。所以，工程上借助于另一种方法，即 0.2% 偏移屈服点。这一常用的技术需要从应变的 0.2% 位置画一条平行于曲线弹性部分的线。这条线与应力 - 应变曲线的相交点称为屈服强度。屈服强度是金属或合金的一个重要性能，并且也是用于计算一个原件或结构的容许或设计应力的标准。

当然，在某些合金系统中，确定屈服点的复杂性也增加了。图 1-9 显示了一种碳素钢的典型曲线，具有上、下屈服点，它们都不与 0.2% 偏移屈服点相一致。石油工业中使

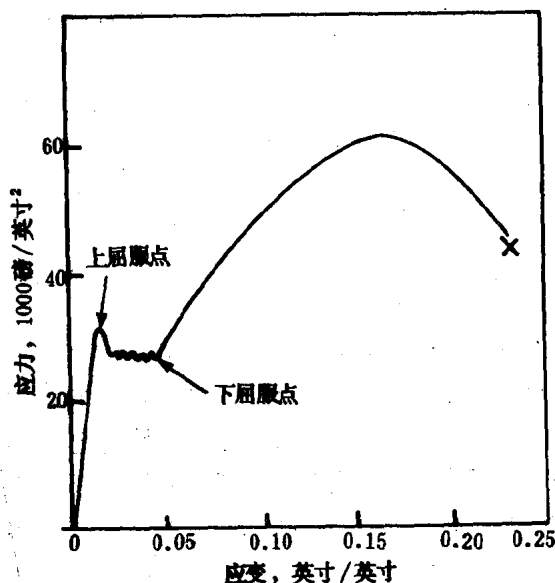


图 1-9 AISI 1030 钢的应力 - 应变曲线表示了上、下屈服强度